

RÉSISTANCE DU POMMIER

A LA TAVELURE *VENTURIA INAEQUALIS* (CKE.) WINT. :SOURCES DE RÉSISTANCE, COMPORTEMENT DU PARASITE,
PROGRAMME DE SÉLECTION

par J.M. OLIVIER* et Y. LESPINASSE**

RÉSUMÉ. — Les principales sources de résistance du pommier à la tavelure appartiennent à deux catégories : résistances à contrôle monogénique et résistances à contrôle polygénique. Deux variétés ont été récemment proposées aux arboriculteurs, «Priam», ■ «Querina» (gène Vf). Les résistances à contrôle polygénique, plus difficiles à sélectionner font l'objet d'études particulières à partir d'anciennes variétés comme «Antonovka», «Rouchetaude».

L'objectif est d'obtenir une résistance durable compte tenu du caractère pérenne du pommier. Actuellement 5 races du parasite sont connues et permettent une approche de la virulence. Les travaux de sélection engagés à partir de la résistance conférée par le gène Vm ont été suspendus après observation en France de la race 5 contournant ce gène. Le couple Vm - race 5 est un des modèles utilisés pour étudier le devenir d'une souche virulente confrontée à la population sauvage; le pathotype se révèle peu compétitif et régresse rapidement dans les conditions de l'étude. Le comportement de cette race 5 permet une discussion de la notion de sélection stabilisatrice.

L'évolution des populations parasitaires confrontées aux différents pathodèmes est suivie grâce à un dispositif particulier de vergers à haute-densité, implantés dans les trois grandes zones de production. On a pu ainsi déceler les races 2 et 5 ■ mesurer tant en phase parasitaire qu'en phase saprophytique, les limites des résistances à contrôle polygénique.

Les résultats obtenus autorisent une réflexion sur les différentes stratégies d'emploi des gènes de résistance aux maladies dans le contexte propre à une culture pérenne. Ces stratégies, impliquant une utilisation raisonnée des différents moyens de lutte, contribuent à la mise en place d'une protection intégrée en verger.

SUMMARY. — The main sources of apple scab resistance are classified in two types : monogenic and polygenic systems. Two varieties have been recently proposed for plantation by the French growers : «Priam» and «Querina» (Vf). The polygenic systems which are more difficult to use for breeding ■■ now studied, specially from old varieties as «Antonovka» or «Rouchetaude».

* Station de Pathologie Végétale et

** Station d'Arboriculture Fruitière, INRA, route de Saint-Clément, Beaucouze, 49000 Angers - France.

The objective of the breeding program is to obtain a durable resistance because the perennity of the host. 5 races of the scab fungus have been described till today, which facilitates a genetic study of the virulence. The breeding work using the Vm gene has been delayed after the observation in France of the race 5, overcoming this gene. Vm and race 5 are now used as a model for studying the behaviour of a virulent strain in competition with a wild population. Under greenhouse conditions, the virulent pathotype expresses a low relative fitness. These results permit to discuss VAN DER PLANK's concept of stabilizing selection.

A special design of high density orchards, planted in 3 areas in France, is used to follow the evolution of parasitic populations on the different pathodemes. Races 2 and 5 have been observed after 3 years in such an orchard. The quantitative aspects of polygenic resistances are also studied during both phases of the fungal cycle, parasitic and saprophytic.

From the results, it is possible to discuss the value of different strategies for the use of resistance systems in perennial cultures. These strategies are built up with a view of a true integrated control of diseases and pests in apple orchards.

INTRODUCTION

Le pommier cultivé (*Malus pumila* Mill.) comporte un nombre considérable de variétés, environ 6000. Malgré ce chiffre impressionnant, la majeure partie de la production de pommes ne provient que d'un nombre restreint de variétés, environ une quinzaine. Notre marché se trouve aujourd'hui dans une conjoncture difficile du fait essentiellement de la surproduction de «Golden delicious». Cette situation doit évoluer progressivement grâce à la rénovation variétale de notre verger. C'est dire l'importance des travaux engagés à Angers, mais la création de nouvelles variétés de pommier représente un travail long et coûteux, du fait de la complexité de la plante (espèce hétérozygote à longue période juvénile) et de l'espace nécessaire à son étude. Le délai entre la conception d'un programme d'amélioration et l'obtention de nouvelles variétés est de l'ordre de 15 à 20 ans; cela rend particulièrement important le choix des objectifs de sélection. La priorité retenue est la **résistance aux principaux parasites et arthropodes nuisibles**, essentiellement la résistance à la tavelure, à l'oïdium, au feu bactérien et au puceron cendré (LESPINASSE, MILAIRE et DECOURTYE, 1976). Dans cet article, nous nous limiterons aux travaux engagés pour la résistance à la tavelure.

I. — LE PROGRAMME DE CRÉATION DE NOUVELLES VARIÉTÉS DE POMMIER RÉSISTANTES A LA TAVELURE (*Venturia inaequalis* (Cke.) Wint.)

a) Sources de résistance

Les pommiers aujourd'hui cultivés sont tous sensibles à la tavelure. Il existe toutefois quelques vieilles variétés, disparues des vergers de production, qui présentent une très faible sensibilité. Ce caractère de faible sensibilité est

dans tous les cas, sous contrôle polygénique et donc difficile d'emploi pour le sélectionneur. C'est la résistance conférée par des espèces sauvages qui a ouvert des perspectives prometteuses pour un programme d'amélioration génétique. HOUGH (1944) met en évidence la résistance de certains semis du clone 821 de *Malus floribunda*. Cette résistance est sous la dépendance d'un gène majeur dominant, Vf. HOUGH et SHAY prospectèrent alors parmi l'ensemble du genre *Malus* pour faire l'inventaire des sources de résistance possibles. En 1947, ils avaient sélectionné au sein d'une collection vingt clones portant une résistance à hérédité simple, dominante. D'autres sources de résistance, à hérédité polygénique, ont été rassemblées. Ainsi, de nombreuses espèces et variétés sont à la disposition du sélectionneur (tableau 1).

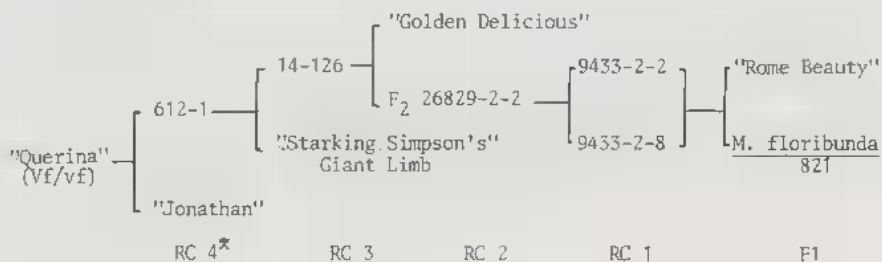
HEREDITE SIMPLE (résistance dominante)		HEREDITE POLYGENIQUE
M. floribunda (821)	gène Vf	M. baccata (certains semis)
M. atrosanguinea (804), type 3		
M. micromalus (245.38), type 3		M. sargentii (843)
M. prunifolia (19 651)		
M. prunifolia microcarpa (782.26)		M. sieboldii (2982.22)
M. prunifolia xanthocarpa (691.25)		
M. species (M.A. 4)		M. toringo (852)
M. species (M.A. 8)		
M. species (M.A. 16)		M. zumi calocarpa
M. species (M.A. 1255)		
Hansen's baccata n°1		Antonovka
Antonovka selection P.I. 172 612	gène Va	Vieilles variétés européennes
Hansen's baccata n°2	gène Vb	
M. baccata jackii	gène Vbj	
M. pumila R 127 40.7 A	gène Vr	

Tab. 1. — Espèces et variétés de pommier utilisées comme géniteurs de résistance.

Pour les espèces dont la résistance est à hérédité simple, des tests d'allélisme ont permis d'identifier 5 gènes indépendants, Va, Vb, Vbj, Vf et Vr. Un sixième gène Vm issu de *Malus micromalus*, non répertorié dans le tableau 1, a été contourné par la race 5. Ce sont les gènes Vf et Vr qui sont les plus utilisés dans les programmes d'hybridation.

Le schéma commun des hybridations consiste en une succession de croisements en retour entre le géniteur de résistance qui apporte un fruit petit et de

mauvaise qualité et des variétés commerciales utilisées comme parents récurrents. Généralement, on change de variété récurrente pour des raisons de vigueur ou de compatibilité de fécondation (voir tableau 2).



* RC $\gamma = \gamma$ est le nombre de rétro-croisements (RC) effectués après la F1.

Tab. 2. — Généalogie de la variété «Querina» (R) (Florina).

Les pépins hybrides obtenus sont semés en serre; la résistance est évaluée en contaminant les très jeunes feuilles des plants issus de semis. La contamination est effectuée par la pulvérisation d'une suspension de conidies suivie d'une incubation en milieu très humide à une température voisine de 18°C. Une échelle de notation a été définie en fonction des différents symptômes foliaires consécutifs à l'infection (LESPINASSE et OLIVIER, 1981). Les semis ainsi sélectionnés et porteurs d'une résistance à hérédité simple Vf conservent leur résistance en verger : il existe une très bonne corrélation entre le stade plantule et le stade adulte.

A la station INRA d'Angers, nous utilisons principalement dans nos programmes de sélection le gène Vf, et dans une moindre mesure, les gènes Vr et Va. En outre, nous nous intéressons particulièrement aux résistances à contrôle polygénique. Ces résistances se rencontrent chez des variétés de l'espèce cultivée; elles présentent donc des fruits d'un calibre commercial et d'une qualité convenables. C'est donc un avantage considérable par rapport aux espèces sauvages ci-dessus mentionnées. D'autre part ces résistances, théoriquement non spécifiques, devraient être une meilleure garantie vis-à-vis de l'apparition de virulence chez le champignon parasite. Enfin, nous voulons associer dans un même génotype résistance à contrôle polygénique et résistance à contrôle monogénique. Plusieurs variétés reconnues peu sensibles en collection ont fait l'objet d'études et de tests de descendance. Deux d'entre elles ont été retenues : «Antonovka» et «Rouchetaude» ainsi que certains de leurs descendants. Avant d'associer dans un même génotype ces deux types de résistance, il est très important de bien connaître le comportement de chacune et de comparer leur intérêt.

b) Résultats

Une première série de croisements effectués au début des années 60 a conduit à la sélection de la variété «Quérina» (tableau 2).

Sous nos conditions pédo-climatiques, «Quérina» est la meilleure variété résistante à la tavelure de toutes celles aujourd'hui connues (voir tableau 3). De maturité tardive, de bonne qualité gustative, et d'assez bonne conservation, «Quérina» correspond à l'une des demandes de la profession : une variété de maturité après «Golden delicious» et s'en différenciant nettement (coloration rouge de l'épiderme). «Priam» est une autre variété résistante à la tavelure, co-obtention franco-américaine; de maturité avant «Golden delicious» et de conservation moyenne, «Priam» ne peut prétendre à une culture à grande échelle mais donne satisfaction au nord de la Loire et dans certaines conditions où la coloration est maximum (le Limousin par exemple).

U.S.A.	CANADA	FRANCE	ANGLETERRE
Prima Vf - 1970	Mac Free Vf - 1974	Priam Vf - 1974	Gavin Vf - 1977
Priscilla Vf - 1972	Nova Easygro Vr - 1975	Querina Vf - 1977	
Sir Prize Vf - 1975	Nova mac Vf - 1978		
Liberty Vf - 1978			
Jonafree Vf - 1979			
Redfree Vf - 1981			

Tab. 3. -- Douze variétés résistantes à la tavelure (contrôle monogénique).

Il est remarquable de souligner que onze des douze variétés nommées (tab. 3) sont résistantes par le même mécanisme génétique (gène Vf). Seule la variété «Nova Easygro» est résistante par un gène indépendant, le gène Vr. La multiplication d'un ensemble de variétés portant la même résistance (pathodème Vf) est une situation préoccupante et justifie la diversification des sources de résistance.

c) Les races du champignon parasite (*Venturia inaequalis*)

Lors des premiers travaux réalisés par les pathologistes américains, aucune différence de pouvoir pathogène n'était considérée au sein de la population de tavelure. Lorsque quelques années plus tard, certains des 20 clones préalablement reconnus résistants se sont avérés sensibles, les souches virulentes ont été isolées et étudiées. Quatre races ont été ainsi définies par leur virulence spécifique (tableau 4). La race 1 appelée aussi la race commune représente un ensemble hétérogène de souches défini dans ce tableau par l'incapacité à attaquer les hôtes différentiels des autres races. La race 5 est apparue simultanément à Angers et à l'institut John Innes en Angleterre en 1968. Elle fait aujourd'hui

l'objet d'une étude particulière pour apprécier l'importance d'une virulence nouvelle.

Pathodèmes Pathotypes	DOLGO (<i>M. baccata</i>)	GENEVA (<i>M.p.nied- zwetz.</i>)	R 12 740-7A (<i>M. pumila</i>) S_i	R 12 740-7A (<i>M. pumila</i>) S'_i	<i>M. micro- malus</i> (pit type) V_{ip}	<i>M. atrosan- guinea</i> 804 (pit type) V_{ip}
1	R	R	R	R	R	R
2	S	S^x	S	R	R	R
3	R	S	R	R	R	R
4	R	R	R	S	R	R
5	R	R	R	R	S	S

S_i : certaines plantes issues de semis de R 127 40-7A;

S'_i : autres semis de ce même clone.

S^x : la sensibilité ne s'observe que si on replace les arbres en atmosphère humide pendant 24 heures après 14 jours d'incubation.

Tab. 4. -- Relations pathodèmes-pathotypes.

II. — RECHERCHES SUR LA STABILITÉ ET L'EXPRESSION DES RÉSISTANCES A CONTRÔLE MONO ET POLYGÉNIQUES

a) Principe des parcelles d'étude

L'exemple de la race 5 montre la nécessité d'une anticipation sur les contournements des gènes de résistance. Il est important de savoir s'il s'agit d'une éventualité fréquente, donnant naissance à des souches plus ou moins compétitives. Pour réaliser cette anticipation sans recours à la mutagenèse, trois conditions peuvent être posées en préambule :

- une densité élevée d'hôtes différentiels représentant une pression de sélection plus forte que l'arbre isolé dans une parcelle d'étude de descendance;
- une pression du parasite importante ou au moins régulière, ce qui implique le recours à des dispositifs comme la haute densité d'arbres sensibles, la brumisation, une taille laissant une végétation dense ...

- une diversité dans les populations du parasite nécessitant une implantation dans différentes zones où sévit la maladie.

Dans notre programme, nous avons conçu des unités dites «vergers-pièges», plantations à haute densité (blocs de 16 arbres en double rang, chaque bloc comportant un hybride défini par son système génétique de résistance = pathodème). Les blocs sont séparés par des rangs de «Golden delicious», sensibles à la maladie et non traités (OLIVIER et LESPINASSE, 1981).

De telles unités sont implantées dans les 3 grandes zones de production de pommes : Val de Loire (INRA Angers), Vallée du Rhône (INRA Gotheron), Vallée de la Garonne (INRA Toulonne). Trois sous-unités constituent le verger piège d'Angers, l'une d'entre elles étant dotée d'un système de brumisation permettant de tempérer l'action néfaste des périodes sèches. A côté d'hybrides résistants (mécanismes mono ou polygéniques), les hôtes différentiels des races définies par WILLIAMS et al. (1969) (et dans le tableau 4) sont implantés dans ces parcelles.

Les objectifs poursuivis sont les suivants :

- Vérifier la stabilité des résistances à contrôle monogénique actuellement employées dans les programmes de création de variétés.
- Explorer l'hétérogénéité des populations parasitaires dans les 3 régions d'implantation.
- Mettre en évidence d'éventuelles races non détectées en France.
- Comparer la phénologie des différents hybrides dans des conditions pathologiques identiques.
- Mesurer l'expression de la maladie dans le cas de systèmes de résistance partielle (polygénique).
- Observer d'éventuelles modifications de l'incidence d'autres parasites en absence de traitements anti-tavelure.

Les résultats actuellement disponibles ont été collectés dans les parcelles les plus âgées (Angers) qui ont connu en 1981, une situation épidémique particulièrement grave avec multiplication continue du parasite de mars à novembre (au 25 septembre, 100 % de feuilles et 75 % de fruits malades sur «Golden delicious»). Ces résultats sont les suivants :

- Absence de tout contournement sur les hybrides portant Vf.
- Manifestation de la race 5 (cf. ci-dessous) et de la race 2 (nouvelle en France).
- Mesures des différences phénologiques et pathologiques entre hybrides à résistance polygénique (cf. ci-dessous).

Compte-tenu des niveaux épidémiques enregistrés en 1981, on constate que la structure du verger-piège assure plus une régularité de la pression parasitaire qu'un véritable «forçage» du champignon. Les conditions sont donc intermédiaires entre celles, très sévères, des tests en serre et celles trop hétérogènes des vergers de type commercial.

b) Le contournement du gène Vm

Le développement d'une race virulente, capable de contourner le mécanisme de résistance porté par un hybride, est une éventualité qui se concrétise parfois (MESSIAEN, 1981). Dans le cas du pommier, le gène Vm a été contourné en France, dès 1968, au cours du programme de sélection réalisé par DECOURTYE. Une telle situation réduit pratiquement à zéro les efforts du sélectionneur; ceci peut se produire particulièrement en fin de programme ou après la diffusion commerciale des variétés, c'est-à-dire lorsque des **superficiés moyennes ou importantes** se trouvent plantées avec le pathodème censé résister à la maladie. Il est donc important de comprendre les mécanismes conduisant à un tel phénomène et, si possible, de prévoir le comportement des souches dotées de la virulence «nouvelle». Sur ce point le concept de «**sélection stabilisatrice**» émis par VAN DER PLANK (1968) constitue un guide pour de nombreuses recherches.

Dans le cas du couple pommier-tavelure, la simulation de compétitions entre souches (ou entre populations) est possible sur jeunes plantes issues de semis. Il s'agit de suivre l'évolution quantitative et qualitative d'un mélange d'isolats au cours de générations conidiennes successives. Cette approche a été largement développée dans la thèse de MARTIN (1982). Nous ne rapportons ici que des observations différentes, relatives à la race 5. La figure 1 concrétise la disparition de deux isolats de race 5, l'un d'origine ancienne (1969) conservé au laboratoire (5_1), l'autre isolé récemment aux U.S.A. (5_2). Les confrontations avec une

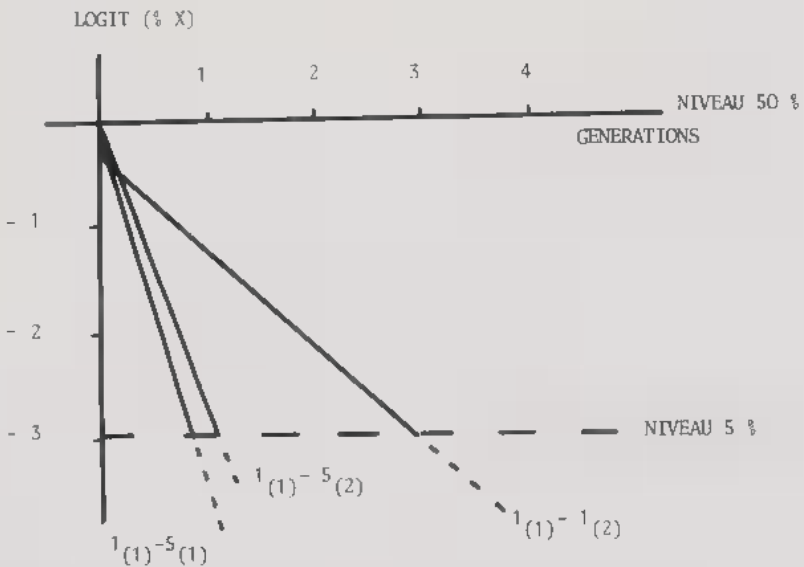


Fig. 1. — Disparition de la race $5_{(x)}$ dans un mélange race 1 + race 5 au cours de générations conidiennes successives (mélange initial : 50 % race 1, 50 % race 5).
2 souches race 1 : $1_{(1)}$ et $1_{(2)}$; 2 souches race 5 : $5_{(1)}$ ■ $5_{(2)}$.

souche de la race 1, marquée par une résistance au bénomyl, conduisent à une régression rapide de l'effectif de la race 5; en une génération, la race 5 ne représente plus que 5 % du mélange (initialement 50 %). Au cours des 6 générations suivantes, on observe cependant la persistance d'un faible effectif de race 5 (< 1 %).

Une telle régression va tout à fait dans le sens d'une sélection stabilisatrice associée à un gène «fort» au sens de VAN DER PLANK puisque le fait de contourner une résistance s'accompagne d'une faible aptitude à la compétition. Des observations en vergers peuvent appuyer cette présomption; en 1981, à partir d'une seule tache de tavelure sur l'hôte Vm, la dissémination a été très faible malgré des conditions climatiques très favorables (quelques 30 taches en 5 mois dans un volume de 70 cm de rayon autour de la tache initiale, sans passage sur les arbres voisins ayant le même génotype).

Il faut cependant discuter ces points à partir des observations suivantes : la race 5 est apparue en France en 1968. Après 2 ou 3 ans, les hôtes susceptibles de l'héberger ont été arrachés. Or 12 ans après, à l'occasion d'une épidémie de forte intensité, la race 5 se manifeste à nouveau sur des hôtes différentiels plantés depuis 3 ans.

La première hypothèse d'un tel maintien serait que la virulence «race 5» est une variation relativement fréquente dans la population du parasite. La seconde serait que la race 5 bien que peu compétitive peut se maintenir au sein de la population du parasite même en absence de l'hôte différentiel (voir faibles % après plusieurs générations de compétitions en serre).

Ces réflexions mettent en cause la valeur pratique de la sélection stabilisatrice dans le cas de la race 5. De plus, il faut considérer le passage obligatoire (en France) de la tavelure par une phase sexuée hivernale. Si des colonies de la race 5 peuvent se maintenir et se croiser avec des souches complémentaires de la race 1, on peut s'attendre à observer en un seul hiver une population de souches «race 5» issues de ces croisements et possédant des compétitivités variables.

Il existera alors au moins quelques descendants (race 5) plus compétitifs que le parent (race 5), ceci grâce à l'hérédité conférée par l'autre parent (race 1). La faible aptitude à la dissémination observée avec la race 5 contrebalance quelque peu ces réflexions pessimistes puisqu'elle limite la probabilité de rencontre d'une telle virulence avec un thalle complémentaire de la race 1. Cette observation plaide plutôt en faveur de la 1^{ère} hypothèse développée ci-dessus.

Pour juger de la valeur pratique de la sélection stabilisatrice, il ne faut donc pas considérer les seules qualités des souches mais aussi les conditions de l'épidémie.

Le seul recours à la sélection naturelle pour limiter le développement d'une nouvelle virulence ne semble pas sans risque; par contre, les caractéristiques peu «dynamiques» des souches race 5 actuellement étudiées laissent prévoir quelques succès pour une stratégie intégrée permettant quelques applications fongicides en cas de périodes trop favorables à la maladie.

c) Étude des systèmes polygéniques de résistance à la tavelure

Plusieurs hybrides portant une résistance à contrôle polygénique ont manifesté des symptômes de maladie dans les conditions sévères de 1981. D'autres sont restés indemnes dans la même situation. Les tableaux 5 à 10 donnent quelques exemples numériques issus des observations sur les hôtes suivants :

- «Golden delicious», référence sensible
- X 3082 = «Richard delicious» x «Reinette de Landsberg»
- P₂₀R₁57 O *Malus hupehensis* x «Jonathan» (4x)
- TNA 48-9 = «Rouchetaude» x «Melrose»
- P₇R₄A₄ = Fécondation libre de Z 185 («Golden delicious» x «Antonovka» 34-16).

Sur ces différents hôtes, on note les éléments suivants :

- Des différences de phénologie (tab. 5) :

Deux types principaux de comportement sont observés :

+ sans croissance estivale (Golden, P₂₀ R₁57)

+ avec croissance estivale (3082, P₇R₄A₄, TNA 48-9), impliquant la production de jeunes feuilles pendant plus de 6 mois.

	Juin	Août	Δ
Golden delicious	15,3	15,9 ^x (17,9)	+ 0,6
X 3082	20,8	30,3	+ 9,5
P ₇ R ₄ A ₄	19,4	29,8	+10,4
P ₂₀ R ₁ 57	17,4	20,4	+ 3,0
TNA ₄₈₋₉	20,6	30,4	+ 9,8

^x Chute d'été

Tab. 5. — Étude phénologique des hybrides. Nombre de feuilles par pousse en juin et août.

-- Des différences de sensibilité à la tavelure

+ Selon la saison (tab. 6) le classement des hybrides établi fin juin est modifié en fin d'été. L'hybride P₂₀R₁57 est relativement plus attaqué à cette période.

Pathodèmes	% Feuilles tavelées		
	Juin	Août	Δ
Golden delicious	37,5	83,0	+ 45,5
X 3082	13,9	20,8	+ 6,9
P ₇ R ₄ A ₄	4,1	7,4	+ 3,3
P ₂₀ R ₁ 57	2,3	27,9	+ 25,6
TNA ₄₈₋₉	0	0	

Tab. 6. -- Sensibilité des hybrides à la maladie. Pourcentage de feuilles malades.

+ Selon le site d'attaque (tab. 7), 3 hybrides P₇R₄A₄, P₂₀R₁57 et TNA 48-9 ne sont pas attaqués au printemps à la face inférieure des feuilles. En été TNA 48-9 reste totalement indemne; la majorité des lésions estivales sur P₂₀R₁57 sont localisées sur la face supérieure. Par contre, on note sur P₇R₄A₄ un accroissement sensible du nombre de taches sur la face inférieure entre juin et août.

Pathodèmes	Lésions/feuille (total)		Lésions/feuille tavelée		Localisation des lésions // face inférieure	
	Juin	Août	Juin	Août	Juin	Août
Golden delicious	2,70	12,1	7,3	14,6	40,6	84,1
X 3082	0,43	0,57	3,1	2,7	47,7	72,1
P ₇ R ₄ A ₄	0,05	0,17	1,25	1,6	0	22,8
P ₂₀ R ₁ 57	0,02	0,92	■	3,3	■	6,4
TNA ₄₈₋₉	0	0	0	■	0	0

Tab. 7. — Nombre de lésions par feuille malade et localisation de ces lésions (% lésions sur la face inférieure des feuilles).

— Peu de différences dans les surfaces des lésions (tab. 8)

Si on calcule la moyenne sur toutes les lésions, les écarts sont faibles. En fait une telle moyenne ne reflète pas des différences de nature qualitative comme la tendance à une nécrose rapide sur P₇R₄A₄ et P₂₀R₁57.

Pathodèmes	Surface des lésions(cm ²)		Spores/cm ² lésions	
	Juin	Août	Juin	Août
Golden delicious	0,446	0,107	6,9.10 ⁴	11,0.10 ⁴
X 30 82	0,341	0,111	3,6.10 ⁴	5,8.10 ⁴
P ₇ R ₄ A ₄	0,125	0,069*	3,7.10 ⁴	2,8.10 ⁴
P ₂₀ R ₁ 57	0,150	0,049	8,5.10 ⁴	5,7.10 ⁴
TNA ₄₈₋₉	■	0	0	0

* lésions jeunes, nécrotiques, pas ■ peu sporulantes.

Tab. 8. — Surface des lésions et sporulation ■ différents hybrides.

— Peu de différences dans le nombre de spores/cm² (tab. 9)

La mesure du nombre de spores portées par une lésion à une date donnée est délicate à interpréter. Les nombreuses périodes favorables à la contamination font qu'on s'adresse à une «population» de taches d'âge très variable.

Il n'en demeure pas moins vrai que les différences entre hybrides sont faibles, comparées à celles enregistrées avec le nombre de lésions.

Pathodèmes	Indice de sporulation (Nb de spores/10 pousses)	
	Juin	Août
Golden delicious	$1,3 \cdot 10^6$	$> 2,3 \cdot 10^6$
X 30 82	$8 \cdot 10^4$	10^5
P ₇ R ₄ A ₄	$2 \cdot 10^4$	$6 \cdot 10^3$
P ₂₀ R ₁ 57	$1,5 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^4$
TNA ₄₈₋₉	0	0

Tab. 9. — Indice de sporulation (nombre de conidies pour 10 rameaux).

Parmi les paramètres mesurés, certains révèlent donc la présence ou l'absence de différences entre les hybrides étudiés. Pour synthétiser ces données, on utilise un indice de sporulation qui représente le pouvoir infectieux des lésions portées par chaque hybride. (Calcul du nombre moyen de spores portées par 10 pousses à bois réparties sur 10 arbres, tab. 9). La comparaison avec «Golden delicious» est faussée en août par une chute importante de feuilles (indice corrigé selon les données de juin, $> 5 \cdot 10^7$). On note une grande hétérogénéité des indices selon les hybrides; nul pour TNA 48-9, il évolue peu en été pour P₇R₄A₄ et X 3082 alors qu'il s'accroît fortement pour P₂₀R₁ 57.

Enfin le nombre d'ascospores produites après l'hiver (en mars 1982) dans les feuilles de chaque hybride (tab. 10) montre que la capacité de transmission de la maladie d'une année sur l'autre est pratiquement nulle pour plusieurs hybrides bien qu'ils aient portés des lésions en cours de végétation.

Pathodèmes	Nb d'ascospores libérés/cm ² * (mars 1982)
Golden delicious	2100
X 3082	200
P ₇ R ₄ A ₄	0
P ₂₀ R ₁ 57	≈ 1
TNA 48-9	0
QUERINA	0
PRIMA	0

* mesuré à partir d'une surface foliaire de 100 cm².

Tab. 10. — Mesure du nombre d'ascospores libérées par les feuilles malades des différents hybrides. (après un hiver passé en conditions naturelles)

En somme, cette étude des hybrides à résistance polygénique réalisée dans

le verger «piège» dans des conditions d'épidémie sévère met en évidence des différences de comportement vis-à-vis de la maladie. On note qu'à l'exception de X 3082, les hybrides ont été peu ou pas attaqués et n'ont pratiquement pas transmis d'inoculum viable pour l'année suivante. Il sera intéressant de comparer ces données avec les éléments enregistrés en 1982, année au contraire peu favorable à la tavelure de printemps. Le verger «piège» est donc un outil intéressant pour l'étude quantitative des hybrides à résistance partielle. Différentes variantes à partir du schéma de base sont conçus pour d'autres types d'expérience; relation entre dissémination de la maladie et mélange d'hybrides, mise en œuvre concrète de stratégies raisonnées pour l'emploi des hybrides.

III. — LES STRATÉGIES

L'utilisation des variétés résistantes à une maladie est limitée, chez le pommier, par quelques paramètres liés :

- aux conditions d'une culture pérenne; investissement initial lourd tant pour la recherche que la production commerciale, inertie au changement ...
- aux problèmes épidémiques, pérennité des pressions de sélection, architecture des arbres, grande étendue des vergers pour un nombre faible de variétés, concentration géographique ...

Il est donc nécessaire, par des stratégies judicieuses, d'éviter ou au moins de limiter l'érosion des résistances introduites dans une variété commercialisable après un travail long et difficile.

Dans le cas du pommier, la situation la plus «simple» est celle de Vf; un gène (supposé fort puisque non contourné depuis plus de 30 ans) est présent dans une variété de bonne qualité agronomique. De même on peut concevoir qu'un hybride à résistance polygénique totale, comme TNA 48-9, puisse être diffusé, dans la mesure où ses qualités gustatives et agronomiques le permettraient. Dans ces deux exemples on utilise donc un seul système de résistance plus ou moins vulnérable.

Pour accroître la «durabilité» au champ de la résistance, en particulier pour celle à effet partiel ou celle conférée par des gènes moins forts que Vf, différents moyens sont étudiés sur la base d'une double sécurité.

La première voie consiste à associer **plusieurs mécanismes de résistance à la maladie** ■ **sein d'une même variété**. LESPINASSE et al. (1979) proposent une approche originale associant au gène Vf une résistance à contrôle polygénique.

Une seconde voie tente de conserver à l'hybride commercialisé une certaine plus value, malgré un éventuel contournement d'une résistance à un parasite : l'application actuelle de ce principe réside dans l'association de **plusieurs résistances à différents ennemis du pommier**. L'hybride P20R₁57 porte une triple résistance tavelure-oidium-puceron cendré. Une double résistance tavelure-feu

bactérien est également en cours d'étude.

Enfin la recherche d'une plus grande sécurité amène à concevoir des stratégies associant à la résistance génétique d'autres moyens de réduire la pression parasitaire, par exemple : techniques culturales et traitements chimiques (OLIVIER et MARTIN, 1982). Cette voie de travail se place dans la conception générale de la lutte intégrée, à laquelle l'apport d'hybrides non ou peu traités contre un ou plusieurs ennemis principaux constitue une contribution importante. Actuellement, plusieurs solutions sont expérimentées :

- sur une variété portant un système unique de résistance (ex. : Vf), on cherche à bloquer le parasite au niveau du passage obligé représenté par la phase hivernale (apport spécifique d'un agent chimique en automne, si nécessaire).

- sur une variété présentant une résistance partielle, on peut réduire l'incidence de la tavelure si le climat de l'année est trop favorable à la maladie; des applications limitées de fongicides sont alors utilisées judicieusement grâce à des indicateurs de risque (OLIVIER et al., 1982).

Enfin, avec ce dernier type de variété, on peut valoriser la très faible sensibilité à la maladie en privilégiant leur plantation dans des zones climatiques connues pour être défavorables à la tavelure.

Différentes voies existent donc pour développer l'emploi des variétés de pommier résistantes à la tavelure, tout en préservant un niveau minimum de sécurité exigé par l'arboriculteur avant d'investir pour 20 ou 30 ans dans une nouvelle plantation.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- HOUGH L.F., 1944 — A survey of scab resistance of the foliage on seedlings in selected apple progenies. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 44 : 260-272.
- LESPINASSE Y., MILAIRE H.G. & DECOURTYE L., 1976 — L'amélioration du pommier pour la résistance aux champignons parasites et aux arthropodes nuisibles. *B.T.I.* 306 : 17-34.
- LESPINASSE Y. & OLIVIER J.M., 1981 — Évolution des recherches sur la résistance du pommier à la tavelure. I. Sources de résistance et programme d'amélioration génétique. *C. R. 1er Colloq. Rech. Fruit. INRA Bordeaux* : 135-144.
- MARTIN D., 1982 — Contribution à l'étude du pouvoir pathogène et de la résistance au bénomyl de *Venturia inaequalis* (Cke) Wint. Compétition entre biotypes et hérédité des caractères. Thèse Doc. 3ème cycle Phytopathol. Univ. Paris Sud Orsay, 115 p.
- MESSIAEN C.M., 1981 — Les variétés résistantes; méthodes de lutte contre les maladies et ennemis des plantes. INRA ed. Paris, 374 p.
- OLIVIER J.M. & LESPINASSE Y., 1981 — Évolution des recherches sur la résistance du pommier à la tavelure. II. Étude du parasite et stratégies de lutte. *C. R. 1er Colloq. Rech. Fruit. INRA Bordeaux* : 145-156.

- OLIVIER J.M. & MARTIN D., 1982 — Les tavelures des arbres fruitiers : problèmes posés par l'utilisation des fongicides et des variétés résistantes, in *Maladies des plantes, Acta Paris* : 350-353.
- OLIVIER J.M., LAMBERT C. & LEFEUVRE M., 1982 — Application du thermohumectographe Kit INRA : étude des risques de tavelure du pommier à l'échelle du Maine-et-Loire. *C. R. Symp. Intern: O.E.P.P.-O.M.M. Genève 1982* (sous presse).
- VAN DER PLANK J.E., 1968 — Disease resistance in plants. Acad. Press, New York, 206 p.
- WILLIAMS E.B. & KUC J., 1969 — Resistance in *Malus* to *Venturia inaequalis*. *Ann. Rev. Phytopathol.* 7 : 223-246.